

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
8. April 2004 (08.04.2004)

PCT

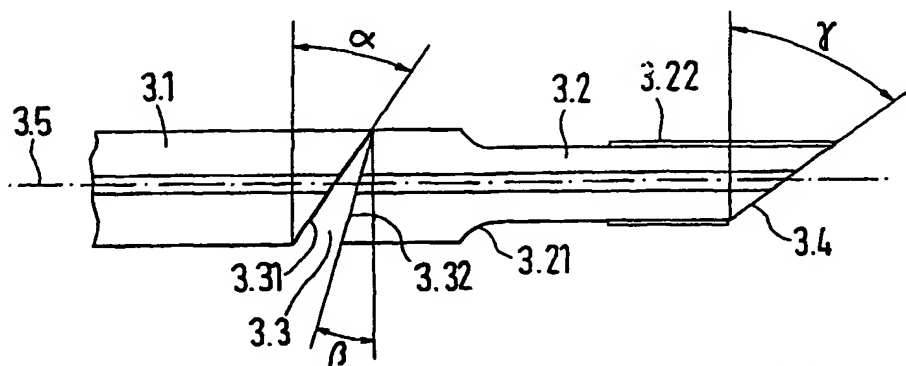
(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2004/029544 A1

- (51) Internationale Patentklassifikation⁷: G01B 9/02 (72) Erfinder; und
(75) Erfinder/Anmelder (*nur für US*): MARCHAL, Dominique [FR/CH]; Route de Bellevue 9, CH-1337 Vallorbe (CH). DUVOISIN, Marc-Henri [CH/CH]; Chemin de la Fontanne 6, CH-1028 Préverenges (CH). BREIDER, Dominique [FR/CH]; Ch. au Vernaz 4, CH-1112 Echichens (CH). DRABAREK, Pawel [DE/DE]; Parkstrasse 16/5, 75233 Tiefenbronn (DE).
- (21) Internationales Aktenzeichen: PCT/DE2003/001032
- (22) Internationales Anmeldedatum:
28. März 2003 (28.03.2003)
- (25) Einreichungssprache: Deutsch
- (26) Veröffentlichungssprache: Deutsch
- (30) Angaben zur Priorität:
102 44 553.2 25. September 2002 (25.09.2002) DE
- (31) Anmelder (*für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US*): ROBERT BOSCH GMBH [DE/DE]; Postfach 30 02 20, 70442 Stuttgart (DE).
- (81) Bestimmungsstaaten (*national*): BR, CN, JP, US.
- (84) Bestimmungsstaaten (*regional*): europäisches Patent (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IT, LU, MC, NL, PT, RO, SE, SI, SK, TR).
- Veröffentlicht:
— mit internationalem Recherchenbericht

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: INTERFEROMETRIC MEASURING DEVICE

(54) Bezeichnung: INTERFEROMETRISCHE MESSEINRICHTUNG



(57) Abstract: The invention relates to an interferometric measuring device for detecting the shape, roughness, and distance of the surface of an object (8) to be measured by means of a modulation interferometer (2) to which short coherent radiation is supplied by a source of radiation (1) and which comprises a first beam splitter (2.3) for splitting the supplied radiation into a first partial beam (2.1) that is guided across a first arm and a second partial beam (2.1') that is guided across a second arm. The light phase or light frequency of one of said partial beams is shifted relative to the other partial beam by means of a modulation device (2.2, 2.2'), said partial beam traveling across a delay loop (2.9'), whereupon the partial beams are reunited at another beam splitter (2.10) of the modulation interferometer (2).

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung bezieht sich auf eine interferometrische Messvorrichtung zum Erfassen der Form, der Rauheit oder des Abstandes der Oberfläche eines Messobjektes (8) mit einem Modulationsinterferometer (2), dem von einer Strahlungsquelle (1) kurzkohärente Strahlung zugeführt wird und das einen ersten Strahlteiler (2.3) zum Aufteilen der zugeführten Strahlung in einen über einen ersten Arm geführten ersten Teilstrahl (2.1) und einen über einen zweiten Arm geführten zweiten Teilstrahl (2.1') aufweist, von denen der eine gegenüber dem anderen mittels einer Modulationseinrichtung (2.2, 2.2') in seiner Licht-Phase oder Lichtfrequenz verschoben wird und eine Verzögerungsstrecke (2.9') durchläuft, und die anschließend an einem weiteren Strahlteiler (2.10) des Modulationsinterferometers (2) vereinigt werden.



Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes und der anderen Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der PCT-Gazette verwiesen.

Interferometrische Messeinrichtung

Die Erfindung bezieht sich auf eine interferometrische Messvorrichtung zum Erfassen der Form, der Rauheit oder des Abstandes der Oberfläche eines Messobjektes mit einem Modulationsinterferometer, dem von einer Strahlungsquelle kurzkohärente Strahlung zugeführt wird und das einen ersten Strahlteiler zum Aufteilen der zugeführten Strahlung in einen über einen ersten Arm geführten ersten Teilstrahl und einen über einen zweiten Arm geführten zweiten Teilstrahl aufweist, von denen der eine gegenüber dem anderen mittels einer Modulations-
einrichtung in seiner Licht-Phase oder Lichtfrequenz verschoben wird und eine Verzögerungsstrecke durchläuft, und die anschließend an einem weiteren Strahlteiler des Modulationsinterferometers vereinigt werden, mit einer von dem Modulationsinterferometer räumlich getrennten und mit diesem über eine Lichtleiteranordnung gekoppelten oder koppelbaren Messsonde, in der die vereinigten

5 Teilstrahlen in einen durch eine Sonden-Lichtleitfasereinheit mit einer schrägen objektseitigen Austrittsfläche zu der Oberfläche geführten Messstrahl und einen Referenzstrahl aufgeteilt und wonach der an der Oberfläche reflektierte Messstrahl und der an einer Referenzebene reflektierte Referenzstrahl überlagert werden, und mit einer Empfängervorrichtung und einer Auswerteeinheit zum
10 Umwandeln der ihr zugeleiteten Strahlung in elektrische Signale und zum Auswerten der Signale auf der Grundlage einer Phasendifferenz.

Stand der Technik

15 Eine derartige interferometrische Messeinrichtung ist in der DE 100 57 539 A1 gezeigt. Bei dieser bekannten Messvorrichtung ist die interferometrische Messvorrichtung einerseits in ein Modulationsinterferometer und andererseits in eine Messsonde mit einer weiteren Interferometereinheit aufgeteilt. In der Messsonde
20 ist eine Sonden-Lichtleitfasereinheit mit einer objektseitigen Austrittsfläche vorgesehen, die z.B. abgeschrägt sein kann. Nähere Ausführungen sind diesbezüglich nicht gemacht. Im Übrigen arbeitet eine derartige interferometrische Messvorrichtung in der nachfolgend im Zusammenhang mit der DE 198 19 762 A1 näher beschriebenen Weise.

25 Eine weitere interferometrische Messvorrichtung ist in der DE 198 19 762 A1 angegeben. Bei dieser Messvorrichtung ist ein Teil, das sogenannte Modulationsinterferometer, räumlich von der eigentlichen Messsonde getrennt und mit dieser optisch über eine Lichtleitfaseranordnung verbunden, so dass die Mess-
30 sonde an sich als relativ einfach aufgebaute, leicht handhabbare Einheit aus-

5 geführt werden kann. Dem Modulationsinterferometer wird eine breitbandige, kurzkohärente Strahlung zugeführt, die am Eingang des Modulationsinterferometers mittels eines Strahlteilers in zwei Teilstrahlen aufgeteilt wird, von denen der eine gegenüber dem anderen mittels einer Modulationseinrichtung, beispielsweise einem akustooptischen Modulator, in seiner Licht-Phase oder Licht-Fre-

10 quenz verschoben wird. Einer der beiden Teilstrahlen durchläuft in dem Modulationsinterferometer ein Verzögerungselement, das eine optische Wegdifferenz der beiden Teilstrahlen erzeugt, die größer ist als die Kohärenzlänge der kurzkohärenten Strahlung. In der Messsonde wird in einem Messzweig bezüglich eines Referenzzweigs eine weitere optische Wegdifferenz in der Weise erzeugt, dass

15 die durch das Verzögerungselement bewirkte Wegdifferenz kompensiert wird und somit eine Interferenz der von der Referenzebene des Referenzzweigs kommenden Referenzstrahlung und der von der Objektoberfläche in dem Messzweig zurückkommenden Strahlung entsteht, die nachfolgend ausgewertet wird, um die gewünschte Oberflächeneigenschaft (Form, Rauigkeit, Abstand) über eine

20 Phasenauswertung zu ermitteln. In der Messsonde sind der Messzweig und der Referenzzweig bei einem Ausführungsbeispiel in einem gemeinsamen Lichtweg (common path) angeordnet, wobei zum Bilden des Messzweiges und des Referenzzweiges ein teildurchlässiges optisches Element vorgesehen ist.

25 Eine ähnliche interferometrische Messeinrichtung mit einem derartigen Modulationsferometer und einer daran über eine Lichtleitfaseranordnung angeschlossenen Messsonde ist auch in der DE 198 08 273 A1 angegeben, wobei mittels einer Empfängervorrichtung in einer Strahlzerlegungs- und Strahlempfangseinheit eine Aufspaltung der zur Interferenz gebrachten Strahlung in Strahlungsanteile

5 unterschiedlicher Wellenlängen erfolgt, um daraus eine synthetische Wellenlänge zu bilden und den Messbereich (Eindeutigkeitsbereich) zu vergrößern.

Bei den vorstehend genannten interferometrischen Messeinrichtungen, die auf dem Prinzip der Heterodyninterferometrie beruhen, aber die Eigenschaften einer
10 breitbandigen, kurzkohärenten Strahlung ausnutzen, weist das als Mach-Zehnder-Interferometer ausgebildete Modulationsinterferometer eine Anordnung klassischer optischer Bauteile auf, wie eine vor dem eingangsseitigen Strahlteiler liegende Kollimationsoptik, den eingangsseitigen und ausgangsseitigen Strahlteiler und Umlenkspiegel. Die Teilstrahlen erfahren dabei mehrere Reflexionen an den
15 Strahlteilerflächen und an den Spiegeln, bevor sie in die optische Lichtleiterfaseranordnung eingekoppelt werden. Die optischen Bauelemente müssen mit hoher Genauigkeit positioniert werden, da jeder Winkelfehler sich bei der Reflexion doppelt auswirkt. Dabei ist eine dauerhafte Justierung schwer sicher zu stellen. Auch im Zusammenhang mit der Einfügung einer Glasplatte zum Ausgleich von
20 optischen Unsymmetrien können sich zusätzliche Schwierigkeiten bei der Justierung ergeben. Mit diesen Schwierigkeiten ist ein aufwendiger Aufbau verbunden, wobei außerdem eine genaue Anpassung an die Eigenschaften der Messsonde erforderlich ist.

25 Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, eine interferometrische Messeinrichtung der eingangs genannten Art bereitzustellen, die mit vereinfachtem Aufbau eine möglichst hohe Messgenauigkeit erreichen lässt.

Vorteile der Erfindung

Diese Aufgabe wird mit den Merkmalen des Anspruchs 1 gelöst. Hiernach ist vorgesehen, dass der Neigungswinkel der Austrittsfläche gegenüber der Normalen der optischen Sondenachse mindestens 46° beträgt.

Mit dieser Ausbildung der Austrittsfläche wird ein optimales Koppelverhalten bei rechtwinkliger Strahlablenkung in diesem Übergangsbereich des zu der Oberfläche des Messobjektes gelenkten und von dieser zurückkehrenden Messstrahls erreicht, wodurch die Genauigkeit der Messung insbesondere in unzugänglichen engen Hohlräumen wesentlich begünstigt wird.

Eine weitere Verbesserung insbesondere bei numerischer Apertur der betreffenden Lichtleitfaser von 0,12 wird dadurch erreicht, dass der Neigungswinkel mindestens 48° beträgt.

Weiterhin werden Störungen dadurch unterdrückt, dass eine mantelseitige Umhüllung eines objektseitigen Endabschnittes der Sonden-Lichtleitfasereinheit mit einer Antireflexionsbehandlung versehen ist.

Weitere Möglichkeiten, die Kopplung der Strahlung zu verbessern, bestehen darin, dass die Austrittsfläche mit einer Reflexionsbehandlung versehen ist.

Für den Aufbau und die Funktion ist eine Ausgestaltung in der Weise vorteilhaft, dass ein teildurchlässiger Bereich zwischen einer Sondenfaser und einem Faser-

5 abschnitt der Messsonde mittels einer bezüglich der optischen Sondenachse unter einem Austrittswinkel schrägen Austrittsfläche einer Sondenfaser und einer ebenfalls bezüglich der optischen Sondenachse unter einem Eintrittswinkel schrägen Eintrittsfläche eines objektseitig folgenden Faserabschnitts gebildet ist, wobei zwischen der Austrittsfläche und der Eintrittsfläche ein keilförmiger Spalt
10 gebildet ist und wobei die Austrittsfläche und die Eintrittsfläche in gleicher Richtung bezüglich der Sondenachse geneigt sind.

Hierbei bestehen vorteilhafte Maßnahmen darin, dass der Austrittswinkel und der Eintrittswinkel so gewählt sind, dass eine Fresnel-Reflexion bewirkt wird.

15 Die Strahlungsübertragung für zuverlässige Messergebnisse wird dadurch begünstigt, dass der Austrittswinkel α zwischen 5° und 8° und der Eintrittswinkel zwischen α und 0° beträgt.

20 Ein weiterer vorteilhafter Aufbau besteht darin, dass die Sondenfaser und der Faserabschnitt in einer röhrenchenförmigen Aufnahme axial ausgerichtet aufgenommen sind, die von einem äußeren Tubus der Messsonde umgeben ist, dass auf der von dem Messobjekt abgelegenen Stirnseite der Aufnahme ein die Sondenfaser umgebendes, ebenfalls zu dem Tubus konzentrisch aufgenommenes
25 Positionierstück vorgesehen ist und dass der Faserabschnitt in dem objektseitigen, vorderen Teil der Aufnahme und die Sondenfaser in dem objektabgelegenen, hinteren Teil der Aufnahme und/oder dem Tubus fixiert ist.

Ein günstiger Aufbau wird desweiteren dadurch erreicht, dass der vordere Teil
30 der Aufnahme von dem hinteren Teil der Aufnahme durch diametral gegenüber-

5 liegende Spalte getrennt ist, wobei der eine Spalt rückseitig in Verlängerung der
schrägen Austrittsfläche der Sondenfaser und der andere Spalt vorderseitig in
der Verlängerung der schrägen Eintrittsfläche begrenzt sind, dass der vordere
Teil und der hintere Teil der Aufnahme von einem gemeinsamen hülsenförmigen
Haltering umgeben sind, der auf seiner Außenseite von dem Tubus umgeben ist
10 und dass ein vorderer Abschnitt des Faserabschnittes gegenüber dessen hinterem
Abschnitt einen geringeren Durchmesser besitzt.

Zu einem vorteilhaften Aufbau und einer zuverlässigen Funktion tragen weiterhin
die Maßnahmen bei, dass das Modulationsinterferometer zumindest teilweise
15 eine polarisationserhaltende lichtleitende Struktur in Form eines optischen
Faserleiters oder einer integrierten Optik aufweist, wobei die lichtleitende
Struktur zumindest eines Arms aufgetrennt ist.

20 Zeichnung

Die Erfindung wird nachfolgend anhand von Ausführungsbeispielen unter Bezugnahme auf die Zeichnungen näher erläutert. Es zeigen:

25 Fig. 1 eine schematische Darstellung eines Gesamtaufbaus einer interferometrischen Messeinrichtung mit Modulationsinterferometer und Messsonde,

5 Fig. 2 eine nähere Ausgestaltung des in Fig. 1 gezeigten Modulationsinterferometers,

Fig. 3 die Messsonde und das Messobjekt in seitlicher Ansicht mit Darstellung des Strahlungsversatzes,

10 Fig. 4 eine schematische Darstellung eines Faserteils der Messsonde in seitlicher Ansicht,

15 Fig. 5 den vorderen Abschnitt der Messsonde in schematischer seitlicher Darstellung und

Fig. 6 ein weiteres Ausführungsbeispiel des vorderen Abschnittes der Messsonde in schematischer seitlicher Darstellung.

20 Ausführungsbeispiel

25 Wie Fig. 1 zeigt, weist die auf dem Prinzip der Heterodyninterferometrie beruhende interferometrische Messeinrichtung eine breitbandige, kurzkohärente Lichtquelle 1 auf, deren Strahlung einem sogenannten Modulationsinterferometer 2 zugeführt wird. In dem Modulationsinterferometer 2, das in Fig. 2 näher dargestellt ist, wird die Strahlung $s(t)$ an einem ersten Strahlteiler 2.3 in einen über einen ersten Arm geführten ersten Teilstrahl 2.1 mit einer Teilstrahlung $s_1(t)$ und einen über einen zweiten Arm geführten zweiten Teilstrahl 2.1' mit einer Teil-

5 strahlung $s_2(t)$ aufgeteilt und ausgangsseitig an einem weiteren Strahlteiler 2.10 wieder zusammengeführt und von dort über eine Lichtleitfaseranordnung 6 in eine entfernte Messsonde 3 geleitet. Von der Messsonde 3, die z.B. als Fizeau-Interferometer oder Mirau-Interferometer aufgebaut ist, wie in den eingangs genannten Druckschriften näher erläutert, gelangt die Strahlung anschließend über
10 eine weitere Lichtleitfaseranordnung 7 in eine Empfängervorrichtung 4 mit einer Strahlzerlegungseinheit 4.1 und anschließenden photoelektrischen Empfängern 4.2, in denen eine Umwandlung in elektrische Signale erfolgt. In einer anschließenden Auswerteeinheit 5 mit Phasendetektor 5.1 und Recheneinheit 5.2 werden dann die mittels der Messsonde 3 aufgenommenen Eigenschaften der
15 Messoberfläche (z.B. Rauigkeit, Form, Abstände) ermittelt.

Das Modulationsinterferometer 2 ist als Mach-Zehnder-Interferometer aufgebaut, wobei die beiden Arme im Anschluss an den ersten Strahlteiler 2.3 erste bzw. zweite eingangsseitige Lichtleitfasern 2.11, 2.11' und erste bzw. zweite aus-
20 gangsseitige Lichtleitfasern 2.12, 2.12' aufweisen, die zu dem weiteren Strahlteiler 2.10 führen. Der erste Strahlteiler 2.3 ist dabei in einem Faserlichtleiter ausgebildet, mit dem die von der Lichtquelle 1 kommende Strahlung herangeführt wird. Am Ausgang des so gebildeten Kopplers werden die Teilstrahlen mittels linsenartiger Koppellemente 2.4, 2.4' kollimiert, und die beiden
25 kollimierten Teilstrahlen durchlaufen eine erste bzw. zweite Modulationseinheit 2.2, 2.2', beispielsweise in Form eines akustooptischen Modulators, eines faseroptischen Piezomodulators oder eines thermischen Phasenmodulators, wobei die Modulationseinheiten 2.2, 2.2' vorteilhaft auch als integrierte optische Bauteile ausgebildet sein können. Um die chromatische Dispersion zu korrigie-

ren, durchläuft zumindest einer der Teilstrahlen 2.1, 2.1' eine Glasplatte 2.7',
die in einer ersten bzw. zweiten Lichtstrecke 2.5, 2.5' angeordnet ist. Die Wahl
zur Anordnung der Glasplatte 2.7' und/oder auch deren Dicke bestimmt sich
durch Rechnung. Im weiteren Verlauf werden der erste Teilstrahl 2.1 und der
zweite Teilstrahl 2.1' auf ein erstes bzw. zweites linsenartiges Lichtleitelement
2.6, 2.6' geleitet und in die erste bzw. zweite ausgangsseitige Lichtleitfaser
2.12, 2.12' eingekoppelt. Die erste oder die zweite ausgangsseitige Lichtleit-
faser 2.12, 2.12' besitzt eine größere optische Weglänge als die andere Licht-
leitfaser in dem Ausmaß, dass der optische Wegunterschied $\Delta L = L_2 - L_1$ zwi-
schen den beiden Armen größer ist als die Kohärenzlänge der kurzkohärenten
Strahlung $s(t)$ nach Durchlaufen der Filter 4.3 und 4.3'. Eines der linsenartigen
Koppelemente 2.4, 2.4' oder der Lichtleitelemente 2.6, 2.6', beispielsweise
das Lichtleitelement 2.6' kann an einer Justiervorrichtung befestigt sein, mit der
die optische Wegdifferenz ΔL von Hand oder mit einem Motor z.B. unter Benut-
zung eines Mikrometertisches in der Weise verstellt werden kann, dass die Weg-
differenz ΔL zwischen den beiden Armen auf diejenige der Messsonde 3 abge-
stimmt wird, um mit der Messsonde 3 eine Interferenz zu bewirken. Die verwen-
deten Lichtleitphasern 2.11, 2.11', 2.12, 2.12' sind monomod. Außerdem sind
sie vorteilhafterweise polarisationserhaltend, insbesondere, wenn die Lichtquelle
1 polarisiert ist und/oder wenn die Modulationseinheiten 2.2, 2.2' aus doppel-
brechenden Kristallen gebildet sind und/oder wenn die Montage an den Koppel-
stellen keine befriedigende Stabilität bezüglich der Polarisationsrichtungen in den
beiden Interferometerarmen ergibt. Zum Erzielen der optischen Wegdifferenz ist
beispielsweise in der zweiten ausgangsseitigen Lichtleitfaser 2.12' ein optischer
Umweg 2.9' vorgesehen.

Die zum Aufnehmen der Objektoberfläche dienende Sonde 3, die beispielsweise als Fizeau-Interferometer oder Mirau-Interferometer aufgebaut ist, weist einen Referenzzweig mit einer Referenzebene und einen zu der Objektoberfläche führenden Messzweig auf, deren optischen Wegdifferenzen so gewählt sind, dass die in dem Modulationsinterferometer 2 erzeugte optische Wegdifferenz kompensiert wird, so dass der von der Objektoberfläche kommende Messstrahl und der von der Referenzebene kommende Referenzstrahl bei ihrer Überlagerung interferieren. Die interferierende Strahlung wird zur spektralen Aufteilung in Anteile unterschiedlicher Wellenlängen der Strahlzerlegungseinheit 4.1 und anschließend den zugeordneten photoelektrischen Empfängern 4.2 zugeführt. Aus der interferierenden Strahlung und den daraus gewonnen elektrischen Signalen wird durch Auswertung der Phasendifferenzen die gewünschte Oberflächeneigenschaft mittels des Phasendetektors 5.1 und der anschließenden Recheneinheit 5.2 ermittelt. Dabei entsteht die ausgewertete Phasendifferenz durch die mit der ersten und/ oder zweiten Modulationseinheit 2.2, 2.2' erzeugte Frequenzdifferenz, die entsprechend dem Heterodynverfahren bezogen auf die Grundfrequenz relativ gering ist. Die Berechnung erfolgt aufgrund der Beziehung:

$$\Delta\varphi = 2\pi \cdot (2e / \Lambda) + \varphi_0$$

wobei

φ_0 eine Konstante,

$\Lambda = \lambda_1 \cdot \lambda_2 / (\lambda_2 - \lambda_1)$ synthetische Wellenlänge der Messvorrichtung

λ_1 Wellenlänge an einem ersten photoelektrischen Empfänger

λ_2 Wellenlänge an einem zweiten photoelektrischen Empfänger

e Messabstand

5 sind. Daraus wird mittels der Auswerteeinheit 5 der jeweils erfasste Abstand der Oberfläche an einer Messstelle bestimmt aus der Beziehung:

$$e = \Delta\varphi / (2 \pi) \cdot (\lambda / 2).$$

10 Das Abstandsmaß e wird also bestimmt aus einer Messung der Phase zwischen zwei elektrischen Signalen, wodurch die Messung unabhängig von der durch die Photodioden empfangenen optischen Intensität ist.

15 Fig. 3 zeigt einen Faserteil der Messsonde, ausgeführt als Mirau-Interferometer mit einer monomodalen Lichtleitfaser, und die Wegverschiebungen der ankommenden $s_2(t)$ und $s_1(t)$ sowie der von der Oberfläche des Messobjektes 8 und einem teildurchlässigen Bereich 3.3 zwischen einer objektseitigen Austrittsfläche 3.31 einer Sondenfaser 3.1 und einer objektabgelegenen Eintrittsfläche 3.32 eines Faserabschnittes 3.2 zurücklaufenden Strahlungsanteile $r_1'(t)$, $r_1(t)$, $r_2(t)$ und
20 $r_2'(t)$. Die zurücklaufenden Strahlungsanteile $r_1'(t)$ und $r_1(t)$ ergeben sich dabei aus derjenigen Strahlung $s_1(t)$, die den Zweig des Modulationsinterferometers 2 ohne Umweg durchlaufen haben, wobei der Strahlungsanteil $r_1'(t)$ von dem teildurchlässigen Bereich 3.3 und der Strahlungsanteil $r_1(t)$ von der Oberfläche des Messobjektes 8 reflektiert werden. Die zurücklaufenden Strahlungsanteile $r_2(t)$ und $r_2'(t)$ hingegen ergeben sich aus derjenigen Strahlung $s_2(t)$ des Modulations-
25 interferometers 2, die den optischen Umweg durchlaufen hat, wobei der zurücklaufende Strahlungsanteil $r_2(t)$ an dem teildurchlässigen Bereich 3.3 und der zurücklaufende Strahlungsanteil $r_2'(t)$ an der Oberfläche des Messobjektes 8 reflektiert worden ist. Es zeigt sich, dass entsprechend der Kompensation der in

5 dem Modulationsinterferometer 2 gebildeten Wegdifferenz ΔL durch die Messsonde 3 lediglich die zurücklaufenden Strahlungsanteile $r_1(t)$ und $r_2(t)$ innerhalb der Kohärenzlänge liegen und miteinander interferieren.

10 Die objektseitige Austrittsfläche 3.4 des Faserabschnittes 3.2 ist bei dem Ausführungsbeispiel nach Fig. 3 vorzugsweise unter einem Winkel von 45° bezüglich der optischen Sondenachse 3.5 geneigt. Auf der Austrittsfläche 3.4 ist eine reflektierende metallische oder dielektrische Beschichtung aufgebracht. Die Strahlung wird auf diese Weise im Wesentlichen rechtwinklig abgelenkt und auf die umgebende Oberfläche des Objekts gelenkt und die von der Oberfläche re-

15 reflektierte Strahlung tritt über die Austrittsfläche 3.4 wieder in die Lichtleitfaser ein.

Wie die Fig. 4 bis 6 zeigen, ist der teildurchlässige Bereich 3.3 zwischen der Austrittsfläche 3.31 der Sondenfaser 3.1 und der Eintrittsfläche 3.32 des Faserabschnittes 3.2 durch eine Neigung der Austrittsfläche 3.31 um einen Winkel α bezüglich der Normalen der Sondenachse 3.5 und durch eine Neigung der Eintrittsfläche 3.32 des Faserabschnittes 3.2 um einen Winkel β bezüglich der Normalen der Sondenachse 3.5 gebildet, wobei der Winkel α größer ist als der Winkel β und sich ein keilförmiger Spalt zwischen der Austrittsfläche 3.31 und der Eintrittsfläche 3.32 ergibt. Die Ausrichtung der Neigung bezüglich der Normalen ist bei der Austrittsfläche 3.31 und der Eintrittsfläche 3.32 im Längsschnitt in gleicher Weise zum Objekt hin orientiert. Der Winkel α der Austrittsfläche 3.31 ist so gewählt, dass der Strahlungsstrom der Fresnel-Reflexion auf der Austrittsfläche 3.31 nicht durch die Sondenfaser 3.1 geführt wird. Für eine monomode Lichtleitfaser mit einer numerischen Apertur von

20

25

30

5 0,12 beträgt der Winkel α vorteilhaft etwa 6° . Der Winkel β ist so gewählt, dass der Strahlungsstrom der Fresnel-Reflexion auf die Eintrittsfläche 3.32 des Faserabschnittes 3.2 durch die Sondenfaser 3.1 geführt wird, wobei das Ausmaß des Strahlungsstromes berücksichtigt wird, das in die Sondenfaser 3.1 eingekoppelt werden soll. Wenn der Winkel β gleich 0 ist, beträgt die Kopp-

10 lungsrate etwa 3,6 %. Wenn der Winkel β gegen den Winkel α geht, strebt der Kopplungsgrad gegen 0. Wenn der Winkel β gegen den Winkel α strebt, geht die Transmission für diesen Übergang und eine zurückkehrende Strahlung gegen 86 %. Ist hingegen der Winkel β gleich 0, beträgt die Transmission etwa 60 %. Eine numerische Apertur von 0,12 ergibt sich z.B. bei einer Wellenlänge von

15 1.550 nm und einem Durchmesser von $10,4 \mu\text{m}$. Der Winkel α sollte nicht kleiner als etwa 5° gewählt werden.

Die Reflexionsbehandlung der Austrittsfläche 3.4 des Faserabschnittes 3.2 kann verringert oder vermieden werden, wenn der Austrittswinkel γ zum Erreichen

20 einer Totalreflexion an der Austrittsfläche 7 vergrößert wird. Dies ist z.B. bei einer monomodalen Lichtleitfaser mit einer numerischen Apertur von 0,12 bei einem Austrittswinkel γ oberhalb von 48° der Fall.

Auf dem objektseitigen Endbereich des Faserabschnittes 3.2 kann auf der

25 Außenbehandlung (cladding) eine Antireflexionsbehandlung 3.22 vorgenommen werden, um die Empfindlichkeit gegenüber der Fresnel-Reflexion zu verringern oder der Austrittswinkel γ kann soweit vergrößert werden, dass der Strahlungsstrom dieser Reflexion nicht mehr in den Faserabschnitt 3.2 eingekoppelt wird.

5 Wie Fig. 5 zeigt, können die Sondenfaser 3.1 und der Faserabschnitt 3.2 in derselben röhrenartigen Aufnahme 3.6 aufgenommen und in Kontakt gebracht werden. Die Aufnahme 3.6 ist die gleiche, wie sie für Verbinder monomoder Lichtleitfasern verwendet wird. Die Aufnahme 3.6 ist in einen sie umgebenden Tubus 3.9 der Messsonde 3 eingesetzt. Im Inneren des Tubus 3.9 befindet sich
10 auf der objektabgelegenen Stirnseite der Aufnahme 3.6 anschließend ferner ein Positionierstück 7 für die Führung und Vorjustierung der Sondenfaser 3.1. Der Faserabschnitt 3.2 ist im Inneren der Aufnahme mittels Klebers 3.8' fixiert, während die Sondenfaser 3.1 in der Aufnahme 3.6 und/oder dem Positionierstück 3.7 mittels Klebers 3.8 fixiert ist.

15 Eine andere Vorgehensweise zum Ausrichten und Festlegen der Sondenfaser 3.1 und des Faserabschnittes 3.2 in der Sonde 3 ist in Fig. 6 gezeigt. Die Sondenfaser 3.1 wird in einen hinteren Abschnitt 3.6' der röhrenförmigen Aufnahme 3.6 eingeführt und die vordere Stirnseite des Aufnahmenabschnittes 3.6' und der Austrittsfläche 3.31 der Sondenfaser 3.1 werden im gewünschten Winkel poliert, wobei die vordere Stirnseite im Bereich der vordersten Kante der
20 Sondenfaser 3.1 normal zur optischen Achse 3.5 der Sondenfaser 3.1 gerichtet ist. Entsprechend wird die hintere Stirnseite eines vorderen Abschnittes 3.6" der Aufnahme 3.6 entsprechend der gewünschten Eintrittsfläche 3.32 des Faserabschnittes 3.2 poliert, wobei der an den hintersten Rand des Faserabschnittes 3.2 angrenzende Bereich der hinteren Stirnseite des vorderen Abschnittes 3.6" der
25 Aufnahme 3.6 normal zur optischen Achse 3.5 der Sondenfaser 3.1 ausgerichtet ist. Zwischen dem hinteren Abschnitt 3.6' und dem vorderen Abschnitt 3.6" der Aufnahme 3.6 ergibt sich dabei im Längsschnitt die in Fig. 6 gezeigte Anord-

5 nung. Die beiden Abschnitte 3.6' und 3.6" der Aufnahme 3.6 werden zueinander mit einem aufgebrachten, z.B. geschlitzten Haltering 3.10 axial ausgerichtet und in den Tubus 3.9 eingesetzt. In dem Tubus 3.9 ist desweiteren
10 wiederum an die hintere Stirnseite der Aufnahme 3.6 angrenzend ein konzentrisches Positionierstück 3.7 zum Justieren und Vorfixieren der Sondenfaser 3.1 eingesetzt, wie bei dem Ausführungsbeispiel nach Fig. 5. Auch die Fixierung der Sondenfaser 3.1 und des Faserabschnittes 3.2 mittels Klebers 3.8, 3.8' erfolgt entsprechend dem Ausführungsbeispiel nach Fig. 5, wobei der Faserabschnitt 3.6 in dem vorderen Abschnitt 3.6" der Aufnahme 3.6 festgelegt wird.

15 Es ist auch möglich, die Abschnitte 3.6' und 3.6" der Aufnahme 3.6 dadurch auszurichten, dass sie in ein V-förmiges Profil eingebracht werden. Dadurch, dass die beiden Abschnitte 3.6', 3.6" der Aufnahme 3.6 getrennt eingebracht werden, kann das äußerste Ende der Messsonde 3 unbeweglich und entsprechend der Eigenschaft des Messobjektes geändert werden, wobei dieselbe Sondenfaser 3.1 beibehalten wird.
20

Wie die Fig. 4 bis 6 desweiteren zeigen, ist der äußere Abschnitt des Faserabschnittes 3.2 in seinem Durchmesser reduziert, so dass er auch in enge Löcher eines Messobjektes 8 eingeführt werden kann, deren Durchmesser weniger als 130 μm beträgt. Üblicherweise beträgt der Durchmesser einer monomodalen Lichtleitfaser mit Außenbehandlung (cladding) 125 μm . Der Durchmesser kann mittels chemischer Behandlung mit einer entsprechenden Säure oder Hitzebehandlung verringert werden, um eine gewünschte Verjüngung 3.21 zu erhalten. Die antireflektierende Behandlung 3.22 ist dann im Bereich des Abschnittes
25

5 geringeren Durchmessers vorgenommen. Auch diese Maßnahmen tragen dazu
bei, zuverlässige Messungen auch in engen Vertiefungen eines Messobjektes 8
vornehmen zu können.

Ansprüche

1. Interferometrische Messvorrichtung zum Erfassen der Form, der Rauheit oder des Abstandes der Oberfläche eines Messobjektes (8) mit einem Modulationsinterferometer (2), dem von einer Strahlungsquelle (1) kurzkohärente Strahlung zugeführt wird und das einen ersten Strahlteiler (2.3) zum Aufteilen der zugeführten Strahlung in einen über einen ersten Arm geführten ersten Teilstrahl (2.1) und einen über einen zweiten Arm geführten zweiten Teilstrahl (2.1') aufweist, von denen der eine gegenüber dem anderen mittels einer Modulationseinrichtung (2.2, 2.2') in seiner Licht-Phase oder Lichtfrequenz verschoben wird und eine Verzögerungsstrecke (2.9') durchläuft, und die anschließend an einem weiteren Strahlteiler (2.10) des Modulationsinterferometers (2) vereinigt werden, mit einer von dem Modulationsinterferometer (2) räumlich getrennten und mit dieser über eine Lichtleitfaseranordnung (6) gekoppelten oder koppelbaren Messsonde (3), in der die vereinigten Teilstrahlen in einen durch eine Sonden-Lichtleitfasereinheit (3.1, 3.2) mit einer schrägen objektseitigen Austrittsfläche (3.4) zu der Oberfläche geführten Messstrahl und einen Referenzstrahl aufgeteilt und in der der an der Oberfläche reflektierte

- 5 Messstrahl ($r_1(t)$) und der an einer Referenzebene reflektierte Referenzstrahl ($r_2(t)$) überlagert werden, und mit einer Empfängervorrichtung (4) und einer Auswerteeinheit (5) zum Umwandeln der ihr zugeleiteten Strahlung in elektrische Signale und zum Auswerten der Signale auf der Grundlage einer Phasendifferenz,
10 dadurch gekennzeichnet,
 dass der Neigungswinkel (γ) der Austrittsfläche (3.4) gegenüber der Normalen der optischen Sondenachse (3.5) mindestens 46° beträgt.
- 15 2. Vorrichtung nach Anspruch 1,
 dadurch gekennzeichnet,
 dass der Neigungswinkel (γ) mindestens 48° beträgt.
- 20 3. Vorrichtung nach Anspruch 1 oder 2,
 dadurch gekennzeichnet,
 dass eine mantelseitige Umhüllung (cladding) eines objektseitigen Endabschnittes der Sonden-Lichtleitfasereinheit (3.2) mit einer Antireflexionsbehandlung (3.22) versehen ist.
- 25 4. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
 dadurch gekennzeichnet,
 dass die Austrittsfläche (3.4) mit einer Reflexionsbehandlung versehen ist.
5. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
 dadurch gekennzeichnet,

5 dass ein teildurchlässiger Bereich (3.3) zwischen einer Sondenfaser (3.1) und einem Faserabschnitt (3.2) der Messsonde (3) mittels einer bezüglich der optischen Sondenachse (3.5) unter einem Austrittswinkel (α) schrägen Austrittsfläche (3.31) einer Sondenfaser (3.1) und einer ebenfalls bezüglich der optischen Sondenachse (3.5) unter einem Eintrittswinkel (β)
10 schrägen Eintrittsfläche (3.32) eines objektseitig folgenden Faserabschnitts (3.2) gebildet ist, wobei zwischen der Austrittsfläche (3.31) und der Eintrittsfläche (3.32) ein keilförmiger Spalt gebildet ist und die Austrittsfläche (3.31) und die Eintrittsfläche (3.32) in gleicher Richtung bezüglich der Sondenachse (3.5) geneigt sind.

- 15 6. Vorrichtung nach Anspruch 5,
dadurch gekennzeichnet,
dass der Austrittswinkel (α) und der Eintrittswinkel (β) so gewählt sind,
dass eine Fresnel-Reflexion bewirkt wird.
- 20 7. Vorrichtung nach Anspruch 5 oder 6,
dadurch gekennzeichnet,
dass der Austrittswinkel (α) zwischen 5° und 8° und der Eintrittswinkel (β) zwischen α und 0° beträgt.
- 25 8. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 5 bis 7,
dadurch gekennzeichnet,
dass die Sondenfaser (3.1) und der Faserabschnitt (3.2) in einer röhrenförmigen Aufnahme (3.6; 3.6', 3.6'') axial ausgerichtet aufgenom-

5 men sind, die von einem äußeren Tubus (3.9) der Messsonde (3) umgeben ist,

 dass auf der von dem Messobjekt (8) abgelegenen Stirnseite der Aufnahme (3.6; 3.6') ein die Sondenfaser (3.1) umgebendes, ebenfalls zu dem Tubus (3.9) konzentrisch aufgenommenes Positionierstück (3.7) vorgesehen ist und

10 dass der Faserabschnitt (3.2) in dem objektseitigen, vorderen Teil der Aufnahme (3.6; 3.6'') und die Sondenfaser (3.1) in dem objektabgelegenen, hinteren Teil der Aufnahme (3.6; 3.6') und/oder dem Tubus (3.9) fixiert sind.

15 9. Vorrichtung nach Anspruch 8,

 dadurch gekennzeichnet,

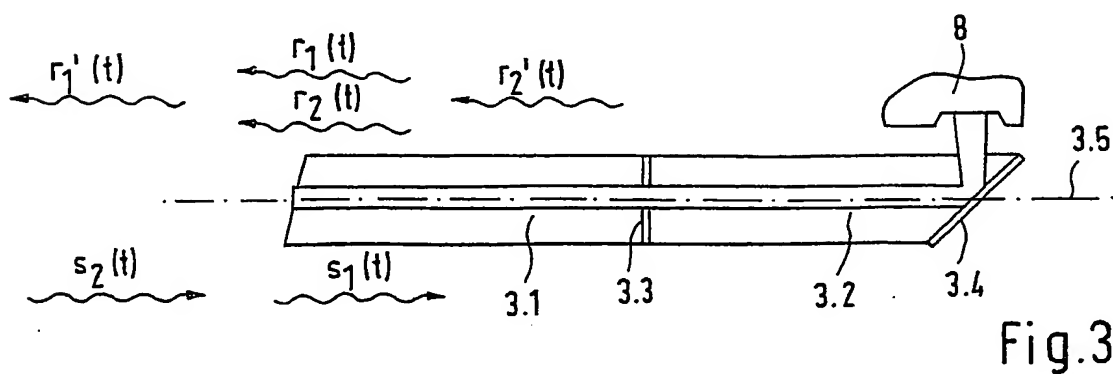
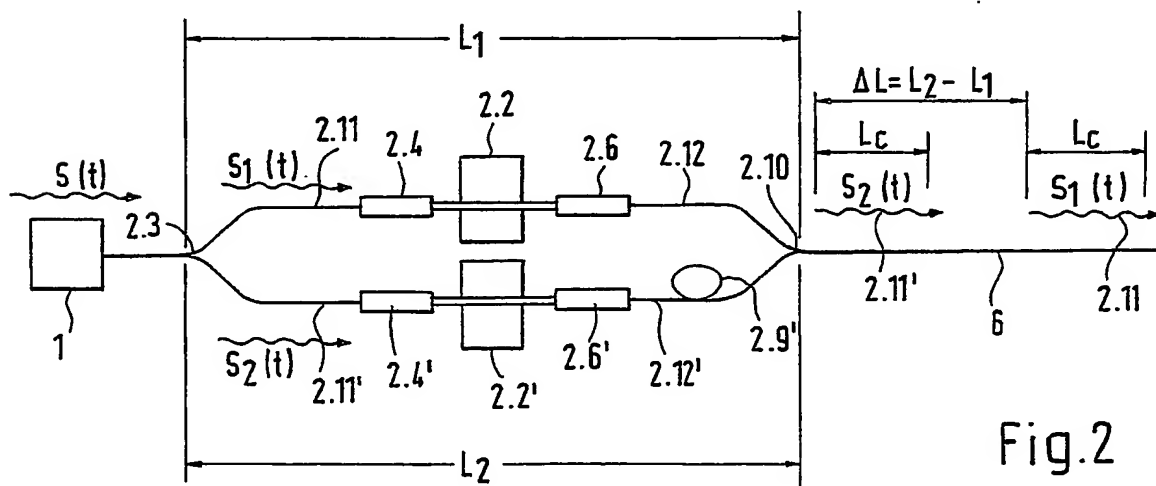
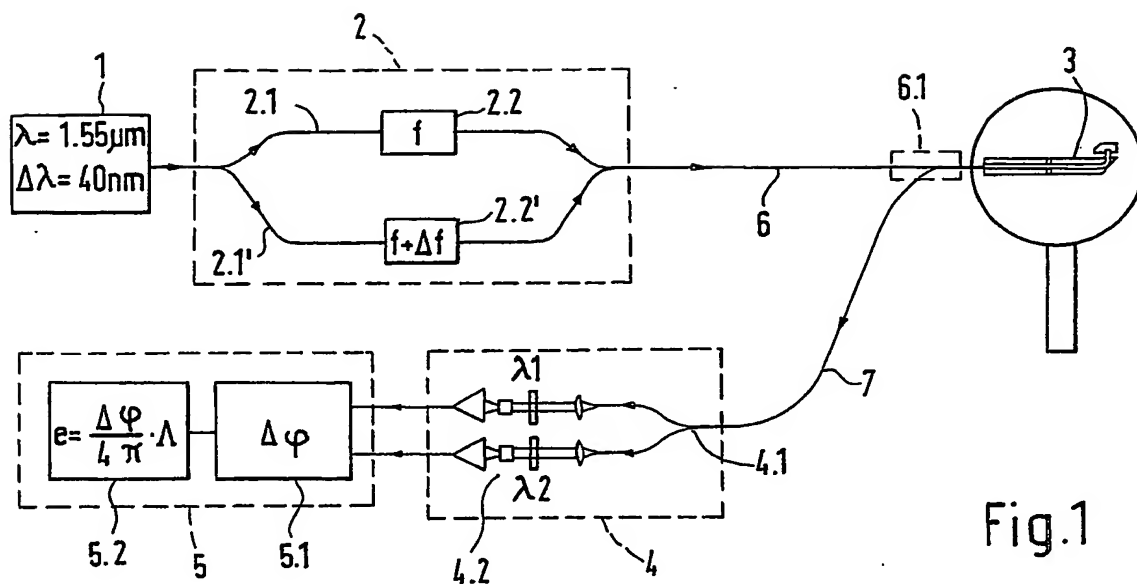
 dass der vordere Teil der Aufnahme (3.6'') von dem hinteren Teil der Aufnahme (3.6') durch diametral gegenüberliegende Spalte (3.61, 3.62) getrennt ist, wobei der eine Spalt (3.61) rückseitig in der Verlängerung der schrägen Austrittsfläche (3.31) der Sondenfaser (3.1) und der andere Spalt (3.62) vorderseitig in der Verlängerung der schrägen Eintrittsfläche (3.32) begrenzt sind,

20 dass der vordere Teil (3.6'') und der hintere Teil (3.6') der Aufnahme von einem gemeinsamen hülsenförmigen Haltering (3.10) umgeben sind, der auf seiner Außenseite von dem Tubus (3.9) umgeben ist und

25 dass ein vorderer Abschnitt des Faserabschnittes (3.2) gegenüber dessen hinterem Abschnitt einen geringeren Durchmesser besitzt.

- 5 10. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
 dadurch gekennzeichnet,
 dass das Modulationsinterferometer (2) zumindest teilweise eine polari-
 sationserhaltende lichtleitende Struktur (2.11, 2.11', 2.12, 2.12') in
 Form eines optischen Faserleiters oder einer integrierten Optik aufweist,
10 wobei die lichtleitende Struktur (2.11, 2.11' 2.12, 2.12') zumindest eines
 Arms aufgetrennt ist.

1/2



2/2

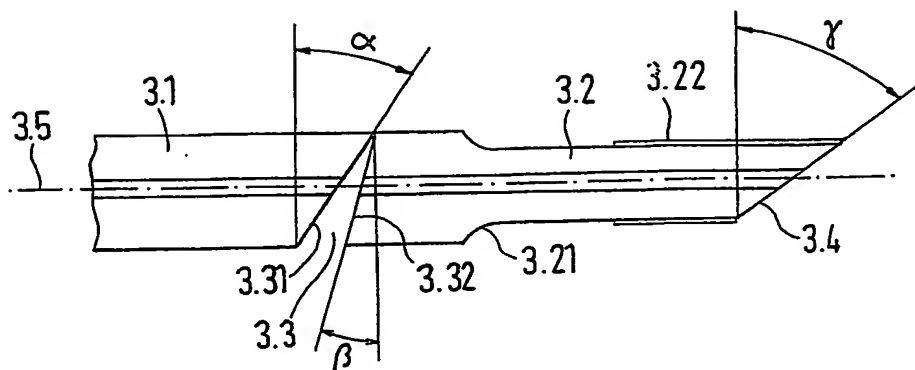


Fig. 4

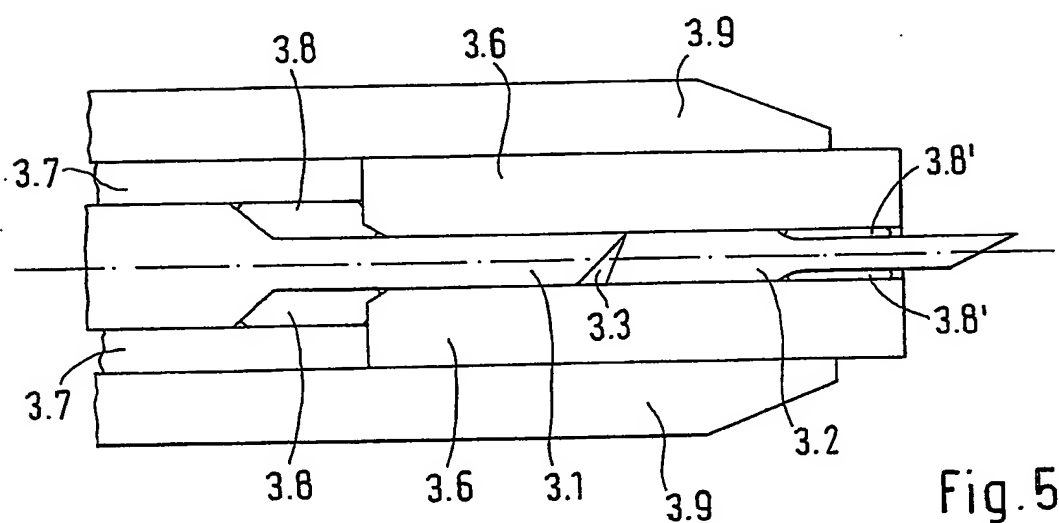


Fig. 5

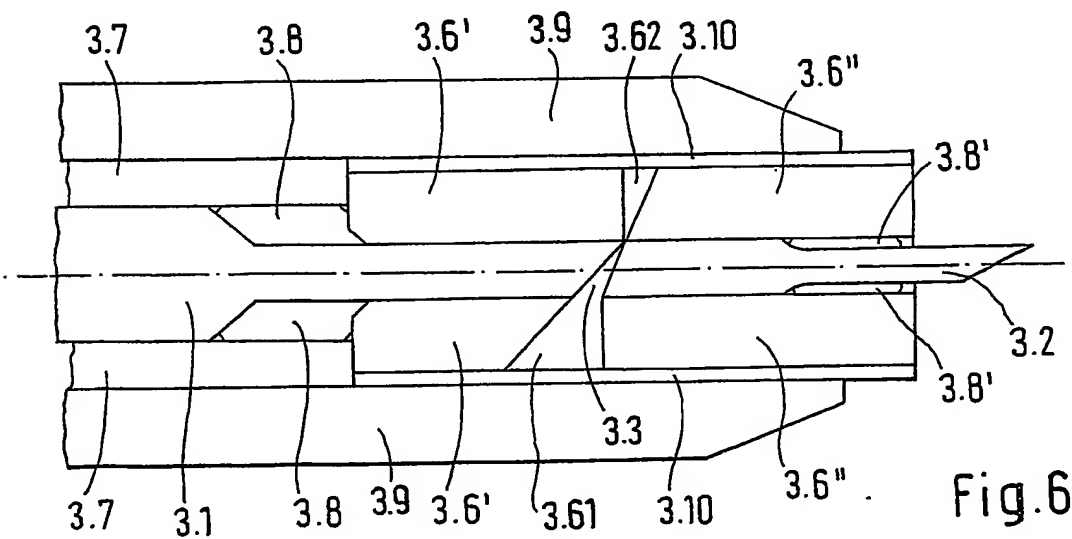


Fig. 6

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

 Internat. Application No
 PCT/DE 03/01032

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
 IPC 7 G01B9/02

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

IPC 7 G01B

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the International search (name of data base and, where practical, search terms used)

EPO-Internal, PAJ, WPI Data

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	US 5 781 297 A (CASTORE GLEN) 14 July 1998 (1998-07-14) abstract; figure 1	1
A	DE 100 57 539 A (BOSCH GMBH ROBERT) 23 May 2002 (2002-05-23) cited in the application abstract; figure 1	1
A	DE 198 08 273 A (BOSCH GMBH ROBERT) 9 September 1999 (1999-09-09) cited in the application abstract; figure 1	1

☐ Further documents are listed in the continuation of box C.

☒ Patent family members are listed in annex.

* Special categories of cited documents :

- *A* document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- *E* earlier document but published on or after the international filing date
- *L* document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- *O* document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- *P* document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

- *T* later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
- *X* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
- *Y* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.
- * & * document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

4 September 2003

Date of mailing of the international search report

12/09/2003

Name and mailing address of the ISA

 European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2
 NL - 2280 HV Rijswijk
 Tel (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
 Fax (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Vorropoulos, G

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International Application No

PCT/DE 03/01032

Patent document cited in search report		Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US 5781297	A	14-07-1998	NONE	
DE 10057539	A	23-05-2002	DE 10057539 A1	23-05-2002
			GB 2373853 A ,B	02-10-2002
			NL 1019392 C2	20-05-2003
			NL 1019392 A1	22-05-2002
			US 2002109847 A1	15-08-2002
DE 19808273	A	09-09-1999	DE 19808273 A1	09-09-1999
			WO 9944009 A1	02-09-1999
			DE 59903540 D1	09-01-2003
			EP 1058812 A1	13-12-2000
			JP 2002505414 T	19-02-2002

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen

PCT/DE 03/01032

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
IPK 7 G01B9/02

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPK) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPK

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierte Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)
IPK 7 G01B

Recherchierte aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

EPO-Internal, PAJ, WPI Data

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	US 5 781 297 A (CASTORE GLEN) 14. Juli 1998 (1998-07-14) Zusammenfassung; Abbildung 1	1
A	DE 100 57 539 A (BOSCH GMBH ROBERT) 23. Mai 2002 (2002-05-23) in der Anmeldung erwähnt Zusammenfassung; Abbildung 1	1
A	DE 198 08 273 A (BOSCH GMBH ROBERT) 9. September 1999 (1999-09-09) in der Anmeldung erwähnt Zusammenfassung; Abbildung 1	1



Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen



Siehe Anhang Patentfamilie

* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

A Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist

E älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist

L Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)

O Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht

P Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

T Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

X Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden

Y Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

G Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

4. September 2003

Absenddatum des internationalen Recherchenberichts

12/09/2003

Name und Postanschrift der internationalen Recherchenbehörde
Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Vorropoulos, G

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/DE 03/01032

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument		Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie		Datum der Veröffentlichung
US 5781297	A	14-07-1998	KEINE		
DE 10057539	A	23-05-2002	DE	10057539 A1	23-05-2002
			GB	2373853 A ,B	02-10-2002
			NL	1019392 C2	20-05-2003
			NL	1019392 A1	22-05-2002
			US	2002109847 A1	15-08-2002
DE 19808273	A	09-09-1999	DE	19808273 A1	09-09-1999
			WO	9944009 A1	02-09-1999
			DE	59903540 D1	09-01-2003
			EP	1058812 A1	13-12-2000
			JP	2002505414 T	19-02-2002